

УДК 681.5.08 : 004.415.538(045)

Г. Е. Соколов, канд. физ.-мат. наук, доц.

**ТЕСТИРОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА, ПОСТРОЕННОГО НА ОСНОВЕ ВЫВОДА СИГНАЛА ЧЕРЕЗ ПОРТ ЗВУКОВОЙ КАРТЫ ПЕРСОНАЛЬНОГО КОМПЬЮТЕРА**

Институт электроники и систем управления НАУ, e-mail: gennadii\_sokolov@mail.ru

*Исследованы свойства генераторов, построенных на основе вывода сигнала через порт LINE-OUT звуковой карты персонального компьютера и общеизвестных программ синтеза гармонического сигнала.*

**ВВЕДЕНИЕ.** В настоящее время персональный компьютер (ПК) используется в качестве контрольно-измерительной аппаратуры (КИА) при модернизации ПК с помощью специального оборудования [1]. Однако узкоспециализированное оборудование весьма дорого по сравнению с ПК стандартного состава и поэтому не получило широкого распространения в Украине. Но есть принципиальная возможность с помощью общеизвестных программ построить КИА на основе ПК стандартного состава при вводе-выводе сигнала через порты звуковой карты [2]. Однако до сих пор это направление не получило развития и метрологические свойства такой КИА не были исследованы, в противном случае сведения об этом появились бы на известном форуме [3].

Более того, по-прежнему предлагаются приборы на основе ввода сигнала через цифровые порты с вновь разработанными устройствами согласования [4].

Настоящая работа посвящена исследованию свойств генераторов, построенных на основе известных программ синтеза сигнала и вывода его через порт LINE-OUT звуковой карты ПК.

**Постановка задачи.** Характеристики генератора определяются как программой синтеза сигнала, так и типом звуковой карты. Была поставлена задача: провести тестирование четырех типов генераторов, построенных на основе программ «VIP Electronics Lab Sine Wave Generator – 3.0» (в дальнейшем программа 1), «Audio Tester v. 1.4» (в дальнейшем программа 2) и звуковых карт «Intel(r) 82801BA/BAM AC'97 Audio Controller» (в дальнейшем ЗК1), «C-Media AC'97 Audio Device» (в дальнейшем ЗК2).

Измерения проводились на установке, собранной согласно блок-схеме, приведенной на рис. 1.

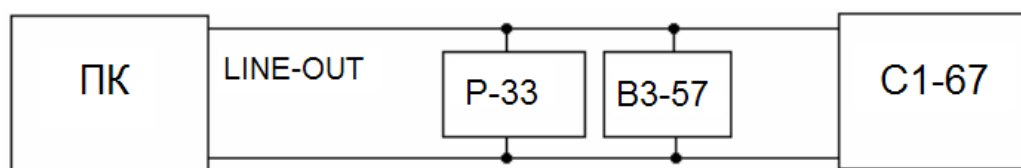


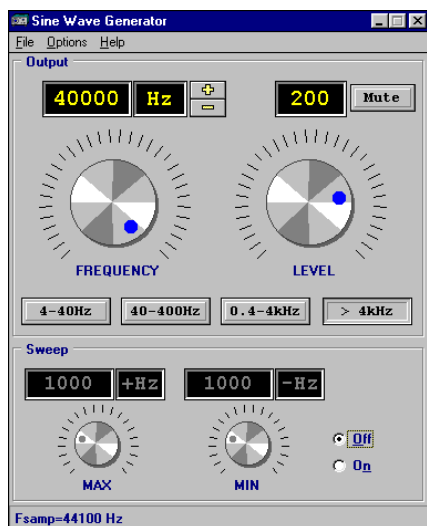
Рис. 1. Блок-схема установки для тестирования генераторов: P-33 – магазин сопротивлений; B 3-57 – ламповый вольтметр; C1-67 – осциллограф; ПК – персональный компьютер

В состав ПК входит одна из названных выше звуковых карт и на котором установлены названные выше программы, т. е. тестируемый генератор.

Выходной сигнал тестируемого генератора снимается с порта LINE-OUT звуковой карты.

Названные выше программы эмулируют на экране монитора ПК лицевые панели генераторов, показанные на рис. 2.

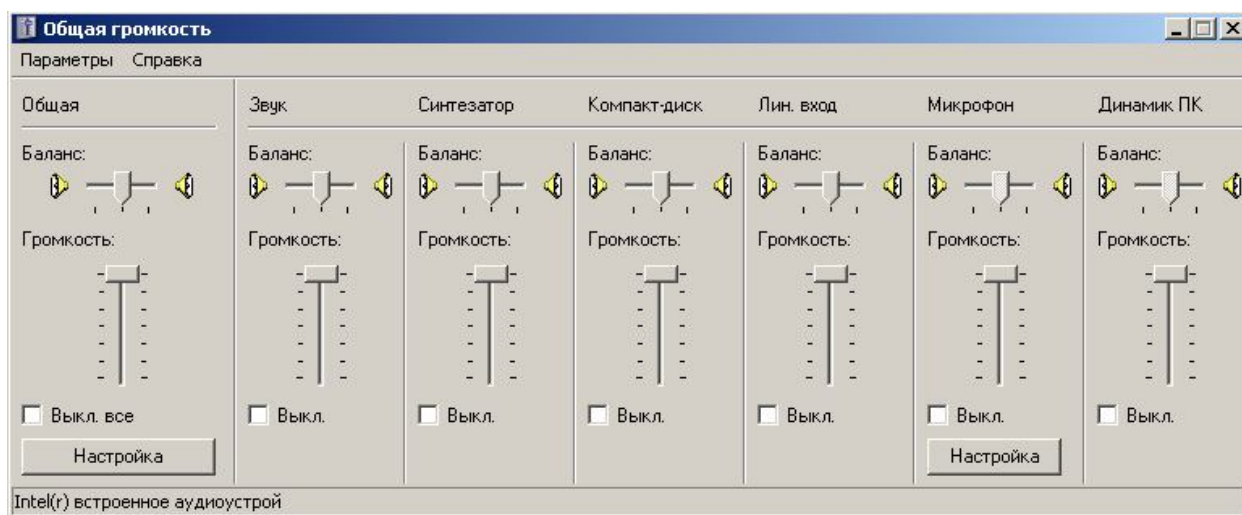
На рис. 2, а видны регулировка частоты от 4 Гц до 40 кГц и регулировка выходного напряжения от 0 до 255 условных единиц. На рис. 2, б видны регулировка частоты от 1 Гц до 40 кГц и регулировка выходного напряжения от 0 до 48 дБ. На рис. 2, в видны регулировки выходного напряжения «Звук» и «Общая» от 0 до максимума в условных единицах шкалы. Эти регулировки необходимо откалибровать. Необходимо также определить выходную мощность сигналов генераторов.



а



б



в

Рис. 2. Лицевые панели регулировок генераторов, эмулируемые программы:  
 а – «BIP ELECTRONICS LAB SINE WAVE GENERATOR – 3.0» б – «AUDIO TESTER V. 1.4»  
 в – драйвером звуковой карты (под Windows XP)

**Тестирование генератора, построенного на основе ЗК1 и программы 1.** (Обозначим этот генератор как генератор 1). Для калибровки регулировки выходного напряжения генератора были проведены измерения выходного напряжения вольтметром ВЗ-57 при разных положениях указателя на лицевой панели (рис. 2, а). При этом указатели регулировок выходного напряжения с помощью драйвера звуковой карты «Общая» и «Звук» (рис. 2, в) устанавливались на максимальную отметку, а сопротивление нагрузки с помощью магазина сопротивлений Р-33 устанавливалось максимальным  $R_H = 99999,9$  Ом. Результаты калибровки представлены на рис. 3. На нем по оси  $X$  – значение на указателе регулировки выходного напряжения генератора в условных единицах, а по оси  $Y$  – калиброванное выходное напряжение  $U_{\text{ВЫХ, К}}$  в вольтах. Линия 1 соответствует частоте генерации 500 Гц и 5 кГц, а линия 2 – частоте 20 кГц.

Как видим, в тестируемом генераторе обеспечивается высокая степень линейности регулировки выходного напряжения. Генератор обеспечивает максимальное выходное

напряжение 0,8 В на частотах 500 Гц и 5 кГц и 0,39 В на частоте 20 кГц, т. е. частотная зависимость калиброванного выходного напряжения может быть весьма существенной.

В силу этого были проведены исследования зависимости калиброванного выходного напряжения от частоты генерируемого сигнала. Результаты исследований приведены на рис. 4 (кривая 1). На нем по оси  $X$  – значение на указателе регулировки частоты на лицевой панели генератора (рис. 2, а) в герцах, а по оси  $Y$  – частотный коэффициент:

$$K_f = \frac{U_{\text{вых},f}}{U_{\text{вых},500}}, \quad (1)$$

где  $U_{\text{вых},f}$  – выходное напряжение генератора на частоте  $f$ ;  $U_{\text{вых},500}$  – выходное напряжение генератора на частоте 500 Гц.

Как видим, в тестируемом генераторе обеспечивается широкий диапазон частот, в котором частотный коэффициент близок к единице, однако он гораздо меньше диапазона частот, обозначенного на частотной регулировке лицевой панели. Считать причиной этого сужения лишь частотные свойства ЗК1 видимо нельзя. Кривая 1 на рис. 4 – это не амплитудно частотная характеристика звуковой карты по каналу порта LINE-OUT, скорее она отображает процесс взаимодействия программы 1 с ЗК1.

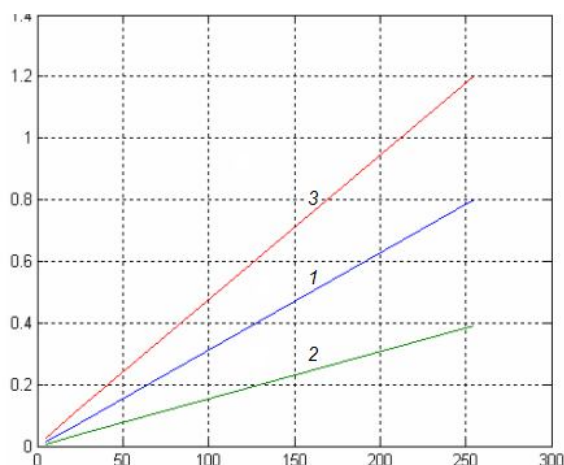


Рис. 3. Калибровочные линии выходного напряжения генераторов 1 и 3

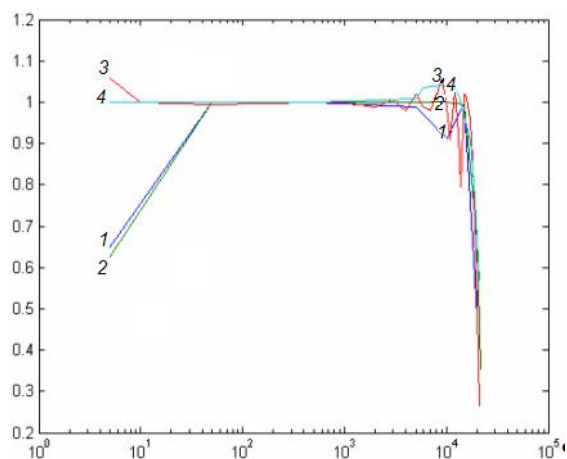


Рис. 4. Частотные коэффициенты генераторов 1 – 4

Такой вывод подтверждается наличием значительных расхождений между реальной частотой генерируемых колебаний и показаниями на частотной регулировке панели генератора. Были проведены измерения частоты генерируемых тестируемым генератором колебаний с помощью осциллографа С1-67 для различных значений показаний частотной регулировки. Результаты измерений приведены на рис. 5 (кривая 1). На нем по оси  $X$  – значение на указателе регулировки частоты в килоггерцах, по оси  $Y$  – значение частоты, измеренное осциллографом.

Как видим, в тестируемом генераторе обеспечивается рабочий диапазон частот до 5 кГц, на более высоких частотах синтез колебаний осуществляется со значительными погрешностями, при этом осциллограф показывает недопустимо большие нелинейные искажения (при генерации ряда частот). При показаниях частотной регулировки 21 – 23 кГц генератор вообще не работает, а более высокие частоты не воспроизводит.

При проведении калибровки выходного напряжения тестируемого генератора регулировки драйвера звуковой карты 1 «Звук» и «Общая» находились в положении максимума. В свою очередь, проводилась калибровка регулировок драйвера. Исследования показали, что на тестируемый генератор регулировка «Общая» не влияет. Результаты исследования влияния регулировки «Звук» на выходное напряжение генератора приведены

на рис. 6 (кривая 1). На нем по оси  $X$  – значение смещения движка указателя регулировки выходного напряжения генератора «Звук» от самого нижнего положения в условных единицах, где за величину единицы принято расстояние между отметками шкалы указателя. По оси  $Y$  отложено значение коэффициента регулировки драйвера «Звук»:

$$K_{д, зв} = \frac{U_{\text{вых}, L}}{U_{\text{вых}, \text{макс}}}, \quad (2)$$

где  $U_{\text{вых}, L}$  – выходное напряжение при смещении движка указателя регулировки  $L$ ,  $U_{\text{вых}, \text{макс}}$  – величина выходного напряжения при максимальном смещении движка указателя.

Как видим, в тестируемом генераторе не обеспечивается линейность регулировки драйвера ЗК1 «Звук», однако калибровочная кривая не зависит от частоты во всем рабочий диапазон частот.

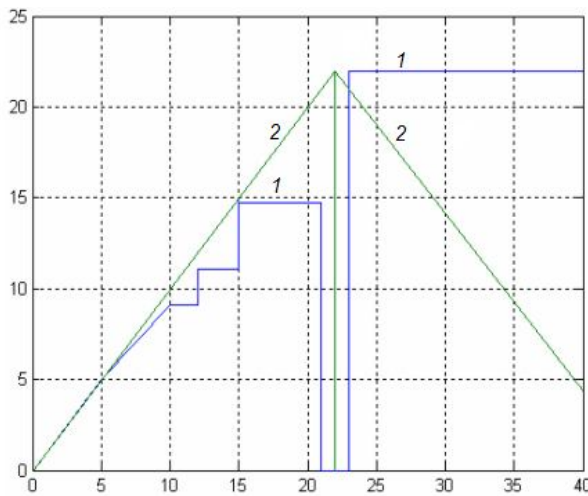


Рис. 5. Калибровочные линии регулировки частоты генераторов 1 и 2

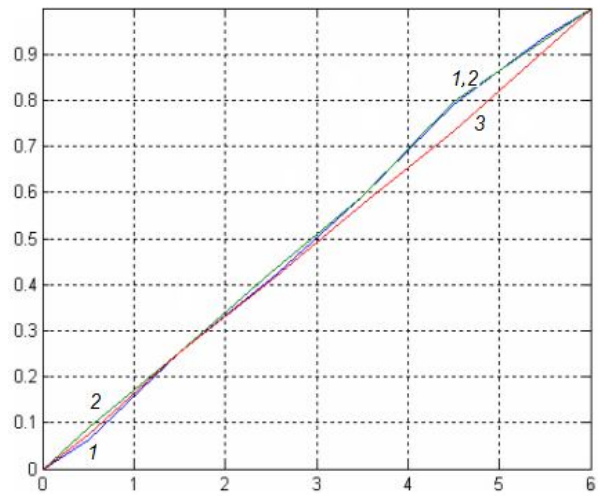


Рис. 6. Коэффициенты регулировки драйверов ЗК1 – ЗК4

Таким образом, выходное напряжение генератора при произвольном положении регулировок определяется выражением

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{вых}, K} K_f K_{д, зв}, \quad (3)$$

где первый множитель определяется кривой 1 (рис. 3), второй – формулой (1) и кривой 1 (рис. 4), а третий – кривой 1 (рис. 6).

Однако необходимо учитывать, что  $U_{\text{вых}}$  согласно выражению (3) – это напряжение на нагрузке 10 кОм. При работе на меньшую нагрузку  $U_{\text{вых}}$  уменьшается согласно соотношению

$$U_{д, зв}(R_H) = \frac{U_{\text{вых}}}{1 + (R_\Gamma / R_H)}, \quad (4)$$

где  $U_{\text{вых}}$  – это напряжение на нагрузке 10 кОм согласно (3), а  $U_{\text{вых}}(R_H)$  – это напряжение на нагрузке  $R_H$ ;  $R_\Gamma$  – выходное сопротивление генератора.

Из соотношения (4) получим выражение для  $R_\Gamma$ :

$$R_\Gamma = R_H \left[ \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вых}}(R_H)} - 1 \right], \quad (5)$$

Были проведены измерения  $U_{\text{вых}}(R_H)$  для серии 20 значений  $R_H$ , из уравнения (5) получена серия значений  $R_\Gamma$ . Статистическая обработка результатов измерений дала значение выходного сопротивления генератора

$$R_r = (11,1 \pm 0,2) \text{ Ом.}$$

Значение  $R_r$  позволило получить важные параметры тестируемого генератора. Это максимальный ток в нагрузке

$$I_{\text{макс}} = \frac{U_{\text{вых, К, макс}}}{R_r} = 72 \text{ мА}$$

и максимальная мощность в нагрузке

$$P_{\text{макс}} = \frac{(U_{\text{вых, К, макс}})^2}{4R_r} = 15,3 \text{ мВт.}$$

Как видим, в тестируемом генераторе обеспечивается небольшая выходная мощность, которая, тем не менее, достаточна для проведения многих контрольных измерений.

**Тестирование генератора, построенного на основе ЗК1 и программы 2.** (Обозначим этот генератор как генератор 2). Для калибровки регулировки выходного напряжения генератора были проведены измерения выходного напряжения вольтметром ВЗ-57 при разных положениях указателя на лицевой панели (рис. 2, б). При этом указатели регулировок выходного напряжения «Общая» и «Звук» с помощью драйвера звуковой карты (рис. 2, в) устанавливались на максимальную отметку, а сопротивление нагрузки с помощью магазина сопротивлений Р-33 устанавливалось максимальным  $R_n = 99999,9 \text{ Ом}$ . Результаты калибровки представлены на рис. 7. На нем по оси  $X$  – значение на указателе регулировки выходного напряжения генератора в децибелах, а по оси  $Y$  – калиброванное выходное напряжение  $U_{\text{вых, К}}$  в вольтах. Линия 1 соответствует частоте генерации 500 Гц и 5 кГц, а линия 2 – частоте 20 кГц.

Как видим, в тестируемом генераторе обеспечивается высокая степень линейности регулировки выходного напряжения. Генератор обеспечивает максимальное выходное напряжение 0,8 В на частотах 500 Гц и 5 кГц и 0,53 В на частоте 20 кГц, т. е. частотная зависимость калиброванного выходного напряжения может быть весьма существенной.

Кроме того, обращает на себя внимание зависимость максимального калиброванного выходного напряжения от программы, на основе которой построен генератор, т. е. эта характеристика определяется не только параметрами звуковой карты. Это видно и по результатам измерения частотного коэффициента  $K_f$  (рис. 4, кривая 2). Характерно, что кривые 1 и 2 различны, хоть и близки.

Различными явились и расхождения между реальной частотой генерируемых колебаний и показаниями на частотной регулировке панели генератора. Были проведены измерения частоты генерируемых тестируемым генератором колебаний с помощью осциллографа С1-67 для различных значений показаний частотной регулировки. Результаты измерений приведены на рис. 5 (кривая 2).

Как видим, в тестируемом генераторе обеспечивается рабочий диапазон частот до 22 кГц. При показаниях частотной регулировки более 22 кГц генератором осуществляется синтез колебаний меньшей частоты, чем 22 кГц, при этом осциллограф показывает отсутствие нелинейных искажений. При показаниях частотной регулировки  $(22050 \pm 5) \text{ Гц}$  генерация исчезает.

Измерения коэффициента  $K_{д,зв}$  для тестируемого генератора показали, что его значения полностью совпадают со значениями этого коэффициента, измеренными при тестировании генератора, построенного на основе ЗК1 и программы 1 и представленными на рис. 6 (кривая 1). Это значит, что  $K_{д,зв}$  полностью определяется звуковой картой и не зависит от программы в составе генератора.

При определении выходного напряжения генератора при произвольном положении регулировок следует пользоваться формулой (3), где первый множитель определяется кривой 1 (рис. 7), второй – кривой 2 (рис. 4), а третий – кривой 1 (рис. 6).

Измерения выходного сопротивления генератора  $R_g$ , максимального тока в нагрузке  $I_{\max}$  и максимальной мощности в нагрузке  $P_{\max}$  генератора показали, что их значения полностью совпадают со значениями этих параметров, измеренных при тестировании генератора, построенного на основе ЗК1 и программы 1. Это значит, что данные параметры полностью определяются звуковой картой и не зависят от программы в составе генератора.

**Тестирование генератора, построенного на основе ЗК2 и программы 1.** (Обозначим этот генератор как генератор 3). Для калибровки регулировки выходного напряжения генератора были проведены измерения согласно методике, примененной для генератора 1.

Результаты калибровки представлены на рис. 3 (линия 3). Эта калибровочная линия соответствует частоте генерации 500 Гц и 5 кГц.

Как видим, в тестируемом генераторе обеспечивается высокая степень линейности регулировки выходного напряжения. Характерно, что генератор 3 обеспечивает максимальное выходное напряжение 1,2 В на частотах 500 Гц и 5 кГц, т. е. в 1,5 раза больше, чем генератор 1 (линия 1).

Существенно отличаются и частотные свойства этих генераторов. Измеренные значения частотного коэффициента  $K_f$  представлены на рис. 4 (кривая 3). Как видим, в тестируемом генераторе обеспечивается широкий диапазон частот, в котором частотный коэффициент близок к единице, однако обращает на себя внимание изрезанность характеристики в области высоких частот, что вызвано плохим взаимодействием программы 1 и ЗК2. Этот вывод подтверждается и калибровочной линией регулировки частоты тестируемого генератора (рис. 8, кривая 1), измеренной согласно методике, примененной к тестированию генератора 1. Как видим, при показаниях регулировки частоты тестируемого генератора выше 21 кГц генератор не работает. Кроме того, характер калибровочной линии и наблюдаемые нелинейные искажения заставляют определить рабочий частотный диапазон тестируемого генератора от 5 Гц до 5 кГц.

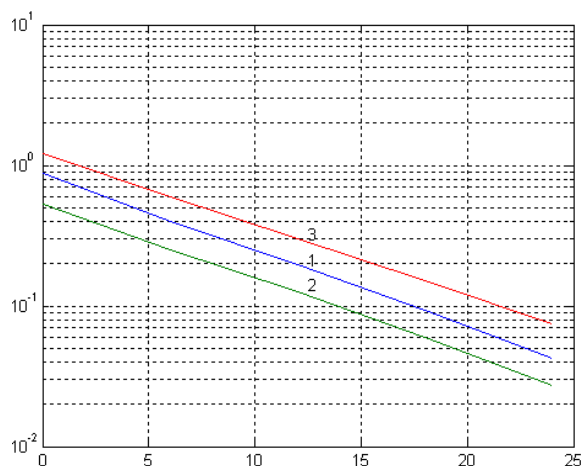


Рис. 7. Калибровочные линии выходного напряжения генераторов 2 и 4

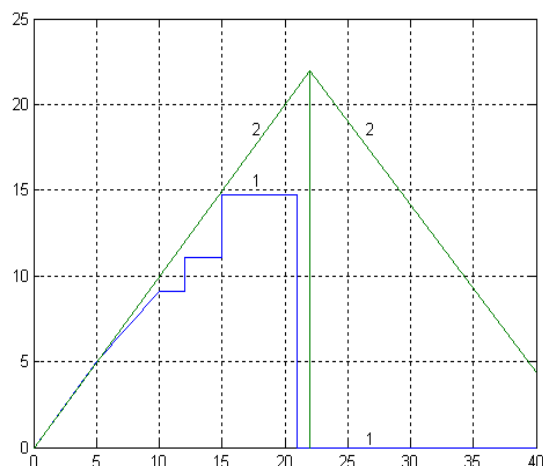


Рис. 8. Калибровочные линии регулировки частоты генераторов 3 и 4

Измерения коэффициента драйвера звуковой карты 2  $K_{д,зв}$  проводилось согласно методике, примененной к тестированию генератора 1. Данные измерений представлены на рис. 6 (кривая 2). Сравнение кривых 1 и 2 показывает несущественные отличия калибровочных кривых драйверов ЗК1 и ЗК2. Существенным отличием в работе драйверов этих звуковых карт является появление для ЗК2 дополнительной регулировки «Общая». Коэффициент драйвера  $K_{д,общ}$  этой регулировки определяется как и  $K_{д,зв}$  по формуле (2) и

измеряется по такой же методике. Данные измерений приведены на рис. 6 (кривая 3). Как видим, калибровочные кривые регулировок «Звук» во всех генераторах нелинейны в отличие от регулировки «Общая», и потому пользоваться ею предпочтительней.

Таким образом, выходное напряжение генератора 3 при произвольном положении регулировок определяется выражением

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{вых} \cdot K} \cdot K_f \cdot K_{\text{д, зв}} \cdot K_{\text{д, общ}},$$

где первый множитель определяется кривой 3 (рис. 3), второй – кривой 3 (рис. 4), а третий – кривой 3 (рис. 6).

Измерения выходного сопротивления тестируемого генератора  $R_r$ , максимального тока в нагрузке  $I_{\text{макс}}$  и максимальной мощности в нагрузке  $P_{\text{макс}}$  проводились согласно методике, примененной для тестирования генератора 1. Измерения показали, что значения этих параметров следующие:

$$R_r = (39,9 \pm 0,2) \text{ Ом};$$

$$I_{\text{макс}} = 30,1 \text{ мА};$$

$$P_{\text{макс}} = 9,0 \text{ мВт}.$$

Как видим, в тестируемом генераторе эти параметры существенно отличаются от тех же параметров у генераторов 1 и 2, однако эти отличия количественные, но не качественные.

**Тестирование генератора, построенного на основе ЗК2 и программы 2.** (Обозначим этот генератор как генератор 4). Для калибровки регулировки выходного напряжения генератора были проведены измерения согласно методике, примененной для генератора 2.

Результаты калибровки представлены на рис. 7 (линия 3). Эта калибровочная линия соответствует частоте генерации 500 Гц и 5 кГц.

Как видим, в тестируемом генераторе обеспечивается высокая степень линейности регулировки выходного напряжения. Характерно, что генератор 4 обеспечивает максимальное выходное напряжение 1,2 В на частотах 500 Гц и 5 кГц, т. е. в 1,5 раза больше, чем генератор 2 (линия 1).

Измерение частотного коэффициента проводилось согласно методике, примененной для генератора 2. Измеренные значения частотного коэффициента  $K_f$  представлены на рис. 4 (кривая 4). Как видим, значения  $K_f$  в тестируемом генераторе и в генераторе 3 (кривые 3 и 4 на рис. 4) хоть и близки, но различны. Таким образом, можно сделать вывод, что частотные свойства генератора определяются не только звуковой картой, но и программой. Этот вывод подтверждается и калибровочной линией регулировки частоты тестируемого генератора (рис. 8, кривая 2), измеренной согласно методике, примененной к тестированию генератора 3. Как видим, при показаниях регулировки частоты тестируемого генератора до 22 кГц генерируемый сигнал соответствует частотной регулировке генератора. Однако при этом на частотах (10 – 22) кГц наблюдались на осциллографе значительные искажения гармонического сигнала, связанные с приближением его синтезированным сигналом, дискретным по амплитуде и непрерывным во времени. Так, гармонический сигнал частоты 10 кГц приближается дискретным с 10 ступеньками за период, гармонический сигнал частоты 15 кГц приближается дискретным с 7 ступеньками за период, гармонический сигнал частоты 20 кГц приближается дискретным с 5 ступеньками за период. Такое представление гармонического сигнала характерно именно для генератора 4 (хотя кривая 2 на рис. 8 имеет тот же вид, что и кривая 2 на рис. 5). Поэтому реально, ограничиваясь небольшими погрешностями дискретизации, необходимо определить рабочий частотный диапазон тестируемого генератора от 5 Гц до 10 кГц.

Измерения коэффициентов драйвера звуковой карты  $K_{\text{д, зв}}$  и  $K_{\text{д, общ}}$  показали, что они не отличаются от ранее измеренных коэффициентов, полученных при тестировании генератора 3 и приведенных на рис. 6 (кривые 2 и 3).

Измерения выходного сопротивления тестируемого генератора  $R_r$ , максимального тока в нагрузке  $I_{\text{макс}}$  и максимальной мощности в нагрузке  $P_{\text{макс}}$  проводились согласно методике,

примененной для тестирования генератора 3. Они показали, что значения этих параметров не отличаются от ранее измеренных, полученных при тестировании генератора 3. Таким образом,  $K_{д, зв}$ ,  $K_{д, общ}$ ,  $R_{Г}$ ,  $I_{макс}$ ,  $P_{макс}$  полностью определяются звуковой картой и не зависят от программы.

### Выводы.

1. Произведена калибровка четырех генераторов, построенных на основе ввода-вывода сигнала через порты двух звуковых карт («INTEL(R) 82801BA/BAM AC'97 AUDIO CONTROLLER», «C-MEDIA AC'97 AUDIO DEVICE») и двух программ синтеза гармонического сигнала («BIP ELECTRONICS LAB SINE WAVE GENERATOR – 3.0», «AUDIO TESTER V. 1.4»). Показана необходимость тестирования каждого генератора в отдельности, поскольку характеристики их не соответствуют указанным на регулировках.

2. Генератор, построенный на основе звуковой карты «INTEL(R) 82801BA/BAM AC'97 AUDIO CONTROLLER» и программы «BIP ELECTRONICS LAB SINE WAVE GENERATOR – 3.0», имеет:

- рабочий частотный диапазон (5 – 5000) Гц;
- диапазон выходных напряжений (0 – 0,8) В;
- максимальную мощность в нагрузке 15,3 мВт.

3. Генератор, построенный на основе звуковой карты «INTEL(R) 82801BA/BAM AC'97 AUDIO CONTROLLER» и программы «AUDIO TESTER V. 1.4», имеет:

- рабочий частотный диапазон (5 – 22000) Гц;
- диапазон выходных напряжений (0 – 0,8) В;
- максимальную мощность в нагрузке 15,3 мВт.

4. Генератор, построенный на основе звуковой карты «C-MEDIA AC'97 AUDIO DEVICE» и программы «BIP ELECTRONICS LAB SINE WAVE GENERATOR – 3.0», имеет:

- рабочий частотный диапазон (5 – 5000) Гц;
- диапазон выходных напряжений (0 – 1,2) В;
- максимальную мощность в нагрузке 9,0 мВт.

5. Генератор, построенный на основе звуковой карты «C-MEDIA AC'97 AUDIO DEVICE» и программы «AUDIO TESTER V. 1.4», имеет:

- рабочий частотный диапазон (5 – 10000) Гц;
- диапазон выходных напряжений (0 – 1,2) В;
- максимальную мощность в нагрузке 9,0 мВт.

### Список литературы

1. <http://www.ni.com/russia>
2. Зубаль Игорь. Компьютер в роли осциллографа, спектроанализатора, частотомера и генератора. <http://www.terralab.ru/supply/17758/>
3. <http://www.terralab.ru/>
4. Тяпичев Г. А. Персональный компьютер в радиолюбительской практике – К.: Мк-Пресс, М.: Издат. дом «Додэка-XXI», 2007. – 400 с.

Г. Е. Соколов

### Тестування генераторів, побудованих на основі виведення сигналу через порт звукової карти персонального комп'ютера

Досліджено властивості генераторів, побудованих на основі виведення сигналу через порт LINE-OUT звукової карти персонального комп'ютера та загальновідомих програм синтезу гармонічного сигналу.

G. E. Sokolov

### The test of generators, were constructed based on signal, leaving through the computer sound card

This article describes the test of generators, were constructed based upon signal leaving through the port LINE-OUT of computer sound card.